

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-267675

(43)Date of publication of application : 29.09.2000

(51)Int.Cl.

G10K 15/00

A63F 13/00

H04S 1/00

(21)Application number : 11-070123

(71)Applicant : SEGA ENTERP LTD

(22)Date of filing : 16.03.1999

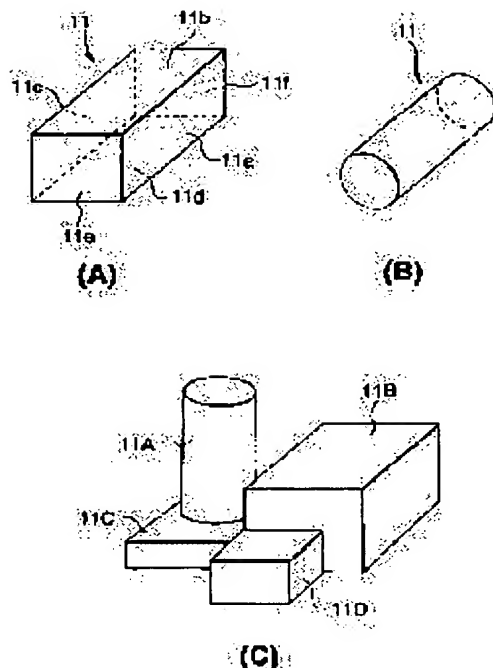
(72)Inventor : KAJI TOSHIYUKI
YAMAMOTO NAOMI
NAKANE TOSHIHIRO

(54) ACOUSTICAL SIGNAL PROCESSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an acoustical signal processor generating an acoustical signal based on a sound field environment to be formed in a virtual three-dimensional space, especially, an acoustical signal processor capable of realizing an acoustical simulation easily.

SOLUTION: This acoustical signal processor generates an acoustical signal by acoustically simulating a sound which is to be sounded from a prescribed sounding position at a prescribed listening position by arranging objects in a virtual three-dimensional space. This processor has such features that an acoustical simulation is performed by constituting a sound field space becoming the object of the simulation while combining spatial objects (11A, 11B, 11C, 11D). 'The spacial object' is an object in which a space (sound field space) where an acoustical simulation is performed is simply modeled in order to perform the simulation easily and is a virtual object to which a prescribed acoustical parameter is given. The sound field space is constituted by combining these spatial objects.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-267675

(P2000-267675A)

(43) 公開日 平成12年9月29日 (2000.9.29)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード* (参考)

G 1 0 K 15/00

G 1 0 K 15/00

M 2 C 0 0 1

A 6 3 F 13/00

H 0 4 S 1/00

Z 5 D 0 6 2

H 0 4 S 1/00

A 6 3 F 9/22

E

J

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全19頁)

(21) 出願番号

特願平11-70123

(22) 出願日

平成11年3月16日 (1999.3.16)

(71) 出願人 000132471

株式会社セガ・エンタープライゼス

東京都大田区羽田1丁目2番12号

(72) 発明者 梶 敏之

東京都大田区羽田1丁目2番12号 株式会
社セガ・エンタープライゼス内

(72) 発明者 山本 尚美

東京都大田区羽田1丁目2番12号 株式会
社セガ・エンタープライゼス内

(74) 代理人 100079108

弁理士 稲葉 良幸 (外2名)

最終頁に続く

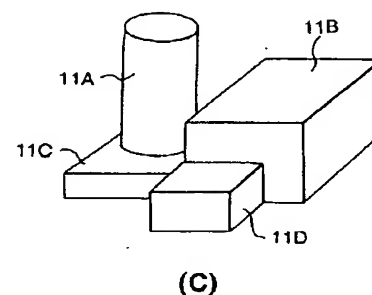
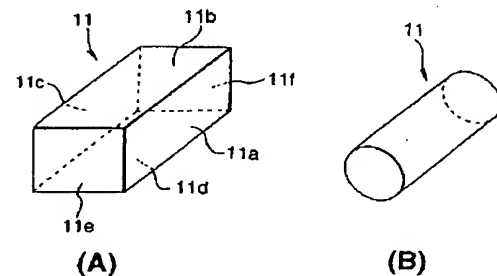
(54) 【発明の名称】 音響信号処理装置

(57) 【要約】

【課題】 仮想三次元空間内に形成される音場環境に基づいて音響信号を生成する音響信号処理装置を提供することを課題とする。特に、音響シミュレーションを簡易に実現できる音響信号処理装置を提供することを課題とする。

【解決手段】 本発明の音響信号処理装置は、仮想三次元空間内にオブジェクトを配置し、所定の発音位置から発音される音を所定の聴取位置において音響シミュレーションをすることで音響信号を生成する。音響シミュレーションの対象となる音場空間を空間オブジェクト (11A、11B、11C、11D) を組み合わせることで構成し、音響シミュレーションを行うことを特徴とする。

“空間オブジェクト”とは、音響シミュレーションを簡易に行うために、音響シミュレーションを行う空間 (音場空間) を単純にモデル化したものであり、所定の音響パラメータが与えられた仮想的なオブジェクトをいう。この空間オブジェクトを組み合わせることで音場空間が構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 仮想三次元空間内にオブジェクトを配置し、所定の発音位置から発音される音を所定の聴取位置において音響シミュレーションをすることで音響信号を生成する音響信号処理装置であって、前記音響シミュレーションの対象となる音場空間を空間オブジェクトを組み合わせることで構成し、前記音響シミュレーションを行う音響信号処理手段を備えることを特徴とする音響信号処理装置。

【請求項 2】 前記音響信号処理手段は、前記空間オブジェクトに固有の音響パラメータを設定し、前記音響シミュレーションを行うことを特徴とする請求項 1 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 3】 前記音響パラメータは、空間オブジェクトの媒質パラメータ、又は、空間オブジェクトを構成する面の反射パラメータであることを特徴とする請求項 2 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 4】 前記空間オブジェクトの形状は直方体であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のうち何れか 1 項に記載の音響信号処理装置。

【請求項 5】 前記音響信号処理手段は、前記音響シミュレーションを直接音、1 次反射音、高次反射音に分けてそれぞれシミュレーションし、前記音響信号を生成することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のうち何れか 1 項に記載の音響信号処理装置

【請求項 6】 前記音響信号処理手段は、前記発音位置と聴取位置間の距離データと、前記媒質パラメータとに基づいて前記直接音の音響信号を生成することを特徴とする請求項 5 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 7】 複数の空間オブジェクトが接続して構成される音場空間内を、聴取位置に対して発音位置が相対的に移動する場合において、前記音響信号処理手段は、前記音場空間を 3 つの領域に区切る 2 つの面を設定し、当該 2 つの面のうち、聴取位置に対して近方の面を面 R、聴取位置に対して遠方の面を面 G とし、さらに、聴取位置を含み、面 R で区画される領域を領域 X、面 R と面 G で区画される領域を領域 Y、その他の領域を領域 Z とし、発音位置の移動軌跡と面 R 及び面 G との交点をそれぞれ点 B 及び点 E とし、面 G 上に予め設定された所定の点を点 D としたとき、発音位置が領域 Z に位置する場合は、発音位置から面 G に降ろした垂線の長さ、聴取位置と点 D の間の距離との和を直接音の伝播距離とし、発音位置が領域 Y に位置する場合は、発音位置を点 A としたとき、線分 BD を BA 対 AE に内分する点 C を求め、聴取位置と点 C 間の距離を直接音の伝播距離とし、発音位置が領域 X に存在する場合には、聴取位置と発音位置間の距離を直接音の伝播距離として、

前記直接音の音響信号を生成することを特徴とする請求項 6 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 8】 前記点 D は面 G の中心点であることを特徴とする請求項 7 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 9】 前記音響信号処理手段は、前記発音位置と聴取位置を基に、空間オブジェクトを構成する面で反射する音の入射角と反射角とが等しくなるような 1 次反射音の伝播経路を設定し、各伝播経路についての伝播距離と、前記媒質パラメータとに基づいて前記 1 次反射音の音響信号を生成することを特徴とする請求項 5 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 10】 前記音響信号処理手段は、前記空間オブジェクトを構成する各面の位置及び大きさと、前記媒質パラメータとに基づいて前記高次反射音の音響信号を生成することを特徴とする請求項 5 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 11】 前記音響信号処理手段は、前記発音位置から発音される音の出力レベルが前記聴取位置において一定の減衰量を超える場合に、前記音響シミュレーションを中止することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のうち何れか 1 項に記載の音響信号処理装置。

【請求項 12】 前記音響信号処理手段は、前記空間オブジェクト内に音響伝達系を構成するオブジェクトが存在する場合に、当該オブジェクトを、前記音響パラメータを有する点又は面として扱い、前記音響シミュレーションを行うことを特徴とする請求項 2 乃至請求項 11 のうち何れか 1 項に記載の音響信号処理装置。

【請求項 13】 仮想三次元空間内に配置されたオブジェクトの映像を画面に表示するとともに、所定の発音位置から発音された音を所定の聴取位置において音響シミュレーションし、音響信号を出力するゲーム装置であって、

前記画面にオブジェクトの映像を表示する画像表示手段と、

前記オブジェクトの映像を画面に表示するためのオブジェクトデータを前記画像表示手段に供給する制御部と、前記音響シミュレーションを行う音響信号処理部とを備え、

前記音響信号処理手段は、前記制御部から前記オブジェクトデータを受け取り、当該オブジェクトデータを基に音響伝達系を構成するとともに、前記音響シミュレーションの対象となる音場空間を空間オブジェクトを組み合わせることで構成し、前記音響シミュレーションを行うことを特徴とするゲーム装置。

【請求項 14】 前記音響信号処理手段は、前記空間オブジェクトに固有の音響パラメータを設定し、前記音響シミュレーションを行うことを特徴とする請求項 13 に記載のゲーム装置。

【請求項 15】 前記音響パラメータは、空間オブジェクトの媒質パラメータ、又は、空間オブジェクトを構成

する面の反射パラメータであることを特徴とする請求項 14 に記載のゲーム装置。

【請求項 16】 前記空間オブジェクトの形状は直方体であることを特徴とする請求項 13 乃至請求項 15 のうち何れか 1 項に記載のゲーム装置。

【請求項 17】 前記音響信号処理手段は、前記音響シミュレーションを直接音、1 次反射音、高次反射音に分けてそれぞれシミュレーションし、前記音響信号を生成することを特徴とする請求項 13 乃至請求項 16 のうち何れか 1 項に記載のゲーム装置。

【請求項 18】 前記音響信号処理手段は、前記発音位置と聴取位置間の距離データと、前記媒質パラメータとに基づいて前記直接音の音響信号を生成することを特徴とする請求項 17 に記載のゲーム装置。

【請求項 19】 複数の空間オブジェクトが接続して構成される音場空間内を、聴取位置に対して発音位置が相対的に移動する場合において、

前記音響信号処理手段は、

前記音場空間を 3 つの領域に区切る 2 つの面を設定し、

当該 2 つの面のうち、聴取位置に対して近方の面を面

R、聴取位置に対して遠方の面を面 G とし、

さらに、聴取位置を含み、面 R で区画される領域を領域 X、面 R と面 G で区画される領域を領域 Y、その他の領域を領域 Z とし、

発音位置の移動軌跡と面 R 及び面 G との交点をそれぞれ点 B 及び点 E とし、面 G 上に予め設定された所定の点を点 D としたとき、

発音位置が領域 Z に位置する場合は、発音位置から面 G に降ろした垂線の長さ、聴取位置と点 D の間の距離との和を直接音の伝播距離とし、

発音位置が領域 Y に位置する場合は、発音位置を点 A としたとき、線分 BD を BA 対 AE に内分する点 C を求め、聴取位置と点 C 間の距離を直接音の伝播距離とし、発音位置が領域 X に存在する場合には、聴取位置と発音位置間の距離を直接音の伝播距離として、

前記直接音の音響信号を生成することを特徴とする請求項 18 に記載のゲーム装置。

【請求項 20】 前記点 D は面 G の中心点であることを特徴とする請求項 19 に記載のゲーム装置。

【請求項 21】 前記音響信号処理手段は、前記発音位置と聴取位置を基に、空間オブジェクトを構成する面で反射する音の入射角と反射角とが等しくなるような 1 次反射音の伝播経路を設定し、各伝播経路についての伝播距離と、前記媒質パラメータとに基づいて前記 1 次反射音の音響信号を生成することを特徴とする請求項 17 に記載のゲーム装置。

【請求項 22】 前記音響信号処理手段は、前記空間オブジェクトを構成する各面の位置及び大きさと、前記媒質パラメータとに基づいて前記高次反射音の音響信号を生成することを特徴とする請求項 17 に記載のゲーム装

置。

【請求項 23】 前記音響信号処理手段は、前記発音位置から発音される音の出力レベルが前記聴取位置において一定の減衰量を超える場合に、前記音響シミュレーションを中止することを特徴とする請求項 13 乃至請求項 22 のうち何れか 1 項に記載のゲーム装置。

【請求項 24】 前記音響信号処理手段は、前記空間オブジェクト内に音響伝達系を構成するオブジェクトが存在する場合に、当該オブジェクトを、前記音響パラメータを有する点又は面として扱い、前記音響シミュレーションを行うことを特徴とする請求項 14 乃至請求項 23 のうち何れか 1 項に記載のゲーム装置。

【請求項 25】 コンピュータを請求項 1 乃至請求項 12 のうち何れか 1 項に記載の音響信号処理装置、又は、請求項 13 乃至請求項 24 のうち何れか 1 項に記載のゲーム装置として機能させるプログラムが記録されたコンピュータ読取可能な情報記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は仮想三次元空間の様子を画面に描画するためのオブジェクトデータを基に音響伝達系を構成し、この音響伝達系に基づいて音響信号をシミュレーションする技術に係わる。特に、音響シミュレーションの演算を簡易に行う技術に関する。

【0002】

【従来の技術】ゲーム装置においては、画面に表示する動画とともに場面に対応した曲や音声を出力して臨場感を高めている。例えば、三次元座標で構成される仮想空間に種々の物体や仮想上の人物（オブジェクト）を配置して仮想ゲーム空間を形成し、ゲームの主人公がゲーム空間を自由に移動してゲームを展開する際に BGM として場面に対応した音楽を流している。また、車両の競争ゲームでは、エンジン音やスリップ音、衝突音等がゲーム展開に対応して発生するように構成されている。このため、ゲームストーリーを記述するプログラムに予めゲーム展開に応じて表示すべき画面とこの画面に対応する音楽、音声、効果音等の音響信号の出力を記述している。このような機能を有する従来のゲーム装置のハードウェアブロック図を図 20 に示す。

【0003】同図に示すゲーム装置は、メイン CPU 1、メモリ 2、サウンド処理部 3、CG 描画部 4、ディスプレイ 5、スピーカ 6a 及び 6b、I/O インタフェース 7 を備える。I/O インタフェース 7 は、CD-ROM 等の記録媒体とのインタフェースである CD-ROM カートリッジインタフェースや、コントローラパッド等の入力デバイスのインタフェースを含む。CD-ROM 等の媒体から提供されるゲームプログラムデータは I/O インタフェース 7 を介してメモリ 2 に供給され、オブジェクトデータ（ポリゴンの座標データ、形状データ等）は CG 描画部 4 に、サウンドデータ（BGM や車の

エンジン音等の音響用として編集された曲データや波形データ)やMIDI形式などのサウンド制御データはサウンド処理部3に供給される。CG描画部4はフレームバッファ、カラーRAM、エンコーダ等を含み、メインCPU1から供給されるコマンドデータに基づき、ディスプレイ5に表示されるオブジェクトをポリゴン(モデル座標系で定義された頂点と稜線で構成される三次元図形)で表し、これをワールド座標系へのモデリング変換、所定のカメラ視点への視野変換、三次元クリッピング処理、陰線処理、テクスチャマッピング処理、シェーディング処理、表示優先処理等を行ってディスプレイ5に表示している。

【0004】サウンド処理部3は、サウンドメモリ、サウンドCPU、2チャンネルの音響信号へ変換するD/Aコンバータ等を含む。サウンドメモリには音源の種類に対応した識別情報とサウンドデータとが関連付けられて登録される。サウンドCPUは、メインCPU1から指定される音源の識別情報を基にサウンドデータをサウンドメモリから読み出し、DSP機能に基づくエコー、リバーブ、コーラス等の特殊音響効果を実現し、音響信号をスピーカ6a及び6bに出力する。メインCPU1は、プレイヤー(遊戯者)によるコントローラパッド等の入力デバイスの入力操作に対応してゲームプログラムのコマンドを解釈し、所定の画像処理と音響処理を行う。例えば、仮想三次元空間内の凸凹道を車が走行する場面を画像表示するとともに音響処理する際には、次に述べるような処理を行う。メインCPU1からは、CG描画部4に対してオブジェクト(車)の描画に関するコマンドデータが供給されるとともに、サウンドCPUに対して音源の種類(スリッパ音やエンジン音等)に応じて予め定められた識別情報が供給される。この識別情報はゲーム場面に応じて予めプログラムに記述される(例えば、車の走行シーンであれば、走行音を生成する音源を指定する)か、又は、オブジェクトに所定のイベント(例えば、車の衝突)が生じたときにイベントの種類に応じたサウンド処理(例えば、車の衝突音を指定する)に使用されるものである。サウンドCPUは、識別情報に関連付けられて登録してあるサウンドデータをサウンドメモリから読み出してこれをスピーカ6a及び6bに出力する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来技術で実現される音響処理は、画面における音源の位置と聴取位置(受音点)との関係を考慮しておらず、単に、サウンドデータをサウンドメモリから読み出してこれをスピーカに出力する構成であるため、音像の定位や音量の加減等が考慮されていなかった。また、音源から発した音が仮想三次元空間内に配置される壁やオブジェクト等の物体から受ける影響、例えば、遮蔽や反射等による影響や、当該オブジェクトに固有の反射係数等も考慮されて

いないため、実環境に即したいいわゆる3Dサウンドを実現することができなかった。つまり、音源の位置と聴取位置(受音点)の距離や音の反射等の状況が時間的に連続変化するにも関わらず、所定の音を数種類もしくは1種類の代表的な音源を用意することによって表現されていた。例えば、車がトンネル内を走行する場合は、車の種類や走行速度、トンネルの大きさ、形状、長さ等を考慮せず、同一のサウンドを生成していた。同様に、トンネルから反射する反射音や、他の車からの走行音等は全く考慮されていなかった。また、車の走行音は市街地でも海岸線でも同じであるという、不自然さが生じていた。

【0006】また、仮想三次元空間に音響伝達系を設定し、音源オブジェクトから発音される音を受音点において厳密にシミュレーションすると複雑で高度な演算を必要とする。例えば、音響信号には固体、液体、気体を媒体とする表面弾性波があり、平面波、球面波、定在波、進行波等をなして放射、透過、吸収、屈折、回折、干渉、分散、散乱、拡散し、各種の音響現象を起こす。音場の解析は波動方程式、有限境界要素法等により行われるが、一般に多大な演算量を必要とし、複雑な音場に適用できない。特に、ゲームのようにゲーム展開に応じて刻一刻と仮想三次元空間内の環境が変化し、音響伝達系を構成する音の伝播特性がリアルタイムで変化する場合、例えば、音を発する物体が聴取位置から次第に近づいてきて遠ざかるなど、時間的、連続的に場面が変化する場合においては、簡易な演算による音響シミュレーションが望まれる。

【0007】そこで、本発明は、仮想三次元空間内に形成される音場環境に基づいて音響信号を生成する音響信号処理装置及びゲーム装置を提供することを課題とする。さらに、音響シミュレーションを簡易に実現できる音響信号処理装置及びゲーム装置を提供することを課題とする。また、コンピュータをこれら音響信号処理装置又はゲーム装置として機能させるプログラムを格納した情報記録媒体を提供することを課題とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の音響信号処理装置は、仮想三次元空間内にオブジェクトを配置し、所定の発音位置から発音される音を所定の聴取位置において音響シミュレーションをすることで音響信号を生成する。そして、音響シミュレーションの対象となる音場空間を空間オブジェクトを組み合わせることで構成し、音響シミュレーションを行う音響信号処理手段を備えることを特徴とする。

【0009】ここで、“空間オブジェクト”とは、音響シミュレーションを簡易に行うために、音響シミュレーションを行う空間(音場空間)を単純にモデル化したものであり、所定の音響パラメータが与えられた仮想的なオブジェクトをいう。この空間オブジェクトを組み合わせ

ることで音場空間が構成される。

【0010】好ましくは、音響信号処理手段は、空間オブジェクトに固有の音響パラメータを設定し、音響シミュレーションを行う。この音響パラメータは、空間オブジェクトの媒質パラメータ、又は、空間オブジェクトを構成する面の反射パラメータである。“媒質パラメータ”とは、空間オブジェクト内に設定された媒質の種類（空気、水、土等）毎に定められた音の減衰率、湿度、温度等のパラメータをいい、“反射パラメータ”とは、空間オブジェクトを構成する面に入射する音の反射率、透過率又は屈折率をいう。

【0011】音響シミュレーションを簡易にし、演算負荷を低減するために、空間オブジェクトの形状は直方体であることが好ましい。空間オブジェクトを直方体で構成する場合、それぞれの面に対して異なる反射パラメータを設定し、実空間に即した音場空間を実現することもできる。このような構成により、音響シミュレーションを簡易化できるとともに、より現実的な音響シミュレーションを可能にできる。

【0012】好ましくは、音響信号処理手段は、音響シミュレーションを直接音、1次反射音、高次反射音に分けてそれぞれシミュレーションする。

【0013】例えば、直接音の音響信号を生成する場合は、発音位置と聴取位置間の距離データと、媒質パラメータとに基づいて音響シミュレーションをする。複数の空間オブジェクトが接続して構成される音場空間内を、聴取位置に対して発音位置が相対的に移動している場合は、音場空間を3つの領域に区切る2つの面を設定する。当該2つの面のうち、聴取位置に対して近方の面を面R、聴取位置に対して遠方の面を面Gとする。さらに、聴取位置を含み、面Rで区画される領域を領域X（リアル領域）、面Rと面Gで区画される領域を領域Y（トランジェント領域）、その他の領域を領域Z（ギミック領域）とし、発音位置の移動軌跡と面R及び面Gとの交点をそれぞれ点B及び点Eとし、面G上に予め設定された所定の点を点Dとする。発音位置が領域Zに位置する場合は、発音位置から面Gに降ろした垂線の長さ、聴取位置と点Dの間の距離との和を直接音の伝播距離として直接音の音響信号を生成する。発音位置が領域Yに位置する場合は、発音位置を点Aとしたとき、線分BDをBA対AEに内分する点Cを求め、聴取位置と点C間の距離を直接音の伝播距離として直接音の音響信号を生成する。発音位置が領域Xに存在する場合には、聴取位置と発音位置間の距離を直接音の伝播距離として直接音の音響信号を生成する。

【0014】発音位置が移動している場合に上記のようにして直接音を演算することで、空間オブジェクトが非直線的に接続している場合であっても、聴取位置と発音位置間の距離と、聴取位置から見た発音位置（虚像位置）の方向は連続的に変化する。従がって、直接音信号

の演算を簡略化できるとともに、実際の音場空間における音響シミュレーションをできるだけ忠実に再現することができる。

【0015】面R、面Gは空間オブジェクトの形状や空間オブジェクト間の接続態様を考慮して設定すればよい。また、点Dは面Gの中心点であることが好ましい。点Dを面Gの中心点とすることで、実際の発音位置と虚像の位置の誤差を平均的に最小にできる。

【0016】1次反射音の音響信号を生成する場合は、発音位置と聴取位置を基に、空間オブジェクトを構成する面で反射する音の入射角と反射角とが等しくなるような1次反射音の伝播経路を設定し、各伝播経路についての伝播距離と、媒質パラメータとに基づいて音響シミュレーションをする。

【0017】高次反射音の音響信号を生成する場合は、空間オブジェクトの大きさと、媒質パラメータとに基づいて音響シミュレーションをする。

【0018】また、音響シミュレーションを簡易化するために、音響信号処理手段は、発音位置から発音される音の出力レベルが聴取位置において一定の減衰量を超える場合に、音響シミュレーションを中止する。このように処理することで、無駄な演算を省略することができ、音響シミュレーションのための演算負荷を低減することができる。また、音響信号処理手段は、空間オブジェクト内に音響伝達系を構成するオブジェクトが存在する場合に、当該オブジェクトを、音響パラメータを有する点又は面として扱い、音響シミュレーションを行う。このように処理することで、空間オブジェクト内に音を反射或いは透過するオブジェクトが存在する場合であっても、音響シミュレーションの演算負荷を低減することができる。

【0019】本発明のゲーム装置は、仮想三次元空間内に配置されたオブジェクトの映像を画面に表示するとともに、所定の発音位置から発音された音を所定の聴取位置において音響シミュレーションし、音響信号を出力するゲーム装置であって、画面にオブジェクトの映像を表示する画像表示手段と、オブジェクトの映像を画面に表示するためのオブジェクトデータを前記画像表示手段に供給する制御部と、音響シミュレーションを行う音響信号処理部とを備え、音響信号処理手段は、制御部からオブジェクトデータを受け取り、このオブジェクトデータを基に音響伝達系を構成するとともに、音響シミュレーションの対象となる音場空間を空間オブジェクトを組み合せることで構成し、音響シミュレーションを行うことを特徴とする。

【0020】ここで、オブジェクトデータとは、当該オブジェクトを構成するポリゴンの座標データ、形状データ等をいう。ゲーム装置をこのように構成することで、ゲーム画面に表示されるオブジェクトの位置、形状、向き、大きさ等を考慮した音響シミュレーションを実現す

ることができる。さらに、音響シミュレーションの対象となる音場空間を空間オブジェクトで構成するため、音響シミュレーション上の演算負荷を大幅に低減することができる。

【0021】本発明の情報記録媒体は、コンピュータを本発明に係わる音響信号処理装置、又は、本発明に係わるゲーム装置として機能させるプログラムが記録されたコンピュータ読取可能な情報記録媒体である。ここで、情報記録媒体とは、何らかの物理的手段により情報、主に、デジタルデータ、プログラム等が記録されているものであって、コンピュータ、専用プロセッサ等に所望の機能を実現させることができるものをいう。従って、何らかの手段でコンピュータにダウンロードし、所望の機能を実現させるものであればよい。例えば、フレキシブルディスク（FD）、ハードディスク（HD）、CD-ROM、CD-R、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、PDディスク、MDディスク、MOディスク等を含む。また、有線又は無線の通信回線（公衆回線、データ専用線、衛星回線等）を介してホストコンピュータからデータの転送を受ける場合を含む。例えば、インターネット経由でサーバのデータベースからデータを転送する場合も含む。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、各図を参照して本実施の形態について説明する。

【0023】（音響信号処理装置の構成）図1を参照して本実施の形態の音響信号処理装置の構成について説明する。音響信号処理装置は、メインCPU1、メモリ2、サウンド処理部3、CG描画部4、ディスプレイ5、スピーカ6a及び6b、I/Oインタフェース7を備える。I/Oインタフェース7は、ゲームプログラムが記録されたCD-ROM等の記録メディアのインタフェースであるCD-ROMカートリッジインタフェースや、プレイヤーが操作するコントローラパッド等の入力デバイスのインタフェースを含む。CD-ROM等の媒体から提供されるゲームプログラムデータはI/Oインタフェース7を介してメモリ2に供給され、オブジェクトデータはCG描画部4に、サウンドデータ（BGMや車のエンジン音等の音響用として編集された曲データや波形データ）やMIDI形式などのサウンド制御データは

サウンド処理部3に供給される。

【0024】プレイヤーによるコントローラパッドの操作により仮想三次元空間に画像を形成するとともに、音源オブジェクトから発する音を所定の受音点で聞こえる音に音響処理するステップは、以下のように行われる。まず、メインCPU1からCG描画部4に画像を形成するためのオブジェクトデータが供給される。具体的には、各種オブジェクトの形状、位置（ポリゴンの各頂点座標）、向き等を表すデータや、テクスチャデータ等が供給される。CG描画部4はこれらの情報を基に仮想三次

元空間に各種オブジェクトを配置し、これをワールド座標系へのモデリング変換、所定のカメラ視点への視野変換、三次元クリッピング処理、陰線処理、テクスチャマッピング処理、シェーディング処理、表示優先処理等を行ってディスプレイ5に表示している。サウンド処理部3は、CG描画部4に供給される上記オブジェクトデータを基に音響信号を生成する。具体的には、仮想三次元空間内に配置される各種オブジェクトの形状、位置、向き等のデータや、当該オブジェクトを取り巻く環境（例えば、屋内、市街地、森林、砂漠、海中等のゲーム場面毎に設定された環境）を基に、音源オブジェクトから発音される音を所定の受音点で聞こえる音に音響処理（音響シミュレーション）をする。サウンド処理部3は、サウンドメモリ、サウンドCPU、2チャンネルの音響信号へ変換するD/Aコンバータ等を含み、上記音響処理の結果をスピーカ6a及び6bに出力する。サウンド処理部3の具体的な構成については後述する。

【0025】（空間オブジェクトによる音場空間の実現）上記の通り、サウンド処理部3は仮想三次元空間内に配置される各種オブジェクトの形状、位置、向き等のデータや、当該オブジェクトを取り巻く環境を基に音響シミュレーションをするが、シミュレーション演算を簡易にするために、音場空間を直方体、円柱、球等の形状を有する空間にモデル化する。図11（A）に音場空間を直方体にモデル化した空間オブジェクト11を示す。音場空間はゲーム場面毎に設定された仮想空間の環境（例えば、屋内、市街地、森林、砂漠、海中等のゲーム場面毎に設定された環境）に応じて任意の空間オブジェクトを組み合わせることで実現される。この空間オブジェクトはゲーム画面には表示されず、音響シミュレーションの演算に使用される不可視オブジェクトである。

【0026】同図に示す直方体の空間オブジェクト11は6枚の平面11a～11fを備える。各平面は固有の反射率（固有音響インピーダンス） $\gamma_a \sim \gamma_f$ を有する。各平面の反射率を任意に設定することで様々な音場空間を形成することができる。例えば、広い野原のように周囲に建物や障害物が無く、地面だけの音場空間（自由空間）を実現する場合には、地面を表わす平面11dの反射率を例えば0.5乃至0.7程度とし、その他の平面11a～11c、11e、11fの反射率を0とする。このように反射率を設定することで、例えば、平面11aに入射した音は反射することなくそのまま進み、平面11dに入射した音は適当な反射率で反射するため、広い野原のように周囲に建物や障害物が無く、地面だけの音場空間を実現することができる。また、トンネルのような空間的に一部閉鎖的な音場空間を実現する場合には、例えば、平面11a～11dの反射率を0.8程度とし、平面11e、11fの反射率を0とする。このように各平面の反射率を設定することで、平面11a、11b等に入射した音は反射され、平面11e、11fに

入射した音はそのまま進むため、平面11e、11fをトンネルの入り口（又は出口）とした音場空間を実現することができる。また、室内のような完全に閉鎖された音場空間を実現するためには、全ての6面11a～11fについて所定の反射率（例えば、0.9）を与えればよい。このように設定することで全ての面において音が反射し、室内における音場空間を実現することができる。

【0027】また、空間オブジェクト11は、図11(B)に示すような円柱状のものでもよい。この他、球状、円錐状、角錐状、角柱状、4面体、12面体、20面体等でもよい。但し、音響シミュレーションの演算負荷を軽減するためには、直方体（又は立方体）の空間オブジェクトが好ましい。また、図11(C)に示すように、仮想空間内に実現される音場空間はこれらの空間オブジェクトを適宜組み合わせることで構成してもよい。同図では、円柱状の空間オブジェクト11Aに直方体の空間オブジェクト11B～11Dを組み合わせている。このように、適当な大きさの空間オブジェクトを用意することで、任意形状の音場空間を実現することができる。特に、音場空間を室内に設定する場合、音響シミュレーションを正確に行うには室内の形状を忠実に再現する必要があるため、このような空間オブジェクトの組み合わせにより、音場空間を容易に実現することができる。また、複雑な形状の音場空間でそのまま音響シミュレーションするよりも、個々の単純化された空間オブジェクトでの音響シミュレーション結果を組み合わせることで音場空間全体での音場シミュレーションを実現することができ、複雑な演算をより簡便化することができる。

【0028】（音響シミュレーションの概要）音響シミュレーションの演算対象として音の減衰がある。音の減衰は距離に起因するものの他、音響エネルギーの吸収や反射、屈折による減衰がある。例えば、反射面の材質によっては反射だけでなく、音響エネルギーが吸収される。音場空間が空気である場合は、音響エネルギーの吸収率（音の減衰率）は空気の湿度、温度、音の周波数で定められる。また、音の減衰には多くの要因がある。このため、サウンド処理部3が行う音響シミュレーションは、直接音、1次反射音、高次反射音に分けてそれぞれ独立に演算を行う。直接音とは、図12(A)に示すように、音源オブジェクト12から発音された音が空間オブジェクト11に反射せずに受音点13に直接到達する音をいう。直接音における音響シミュレーションは主に伝播距離 r に基づいて演算されるが、空間オブジェクトの媒質による影響（例えば、音場空間の温度、湿度、材質等の音の周波数毎に定められた減衰率）による音の減衰も考慮される。また、音源オブジェクト12と受音点13とが同一の空間オブジェクト内に存在しない場合であって、両者を直線で結ぶことができない場合には、後述するように、空間オブジェクトの接合面に中継点を設

け、この中継点を介して音源オブジェクト12と受音点13を結ぶ伝播経路から直接音を算出する。具体的な直接音の音響シミュレーションについては後述する。1次反射音とは、図12(B)に示すように、音源オブジェクト12から発音された音が空間オブジェクト11に1回反射して受音点13に到達する音をいう。1次反射音における音響シミュレーションは伝播距離 $r_1 + r_2$ による減衰、空間オブジェクトの媒質による影響の他、反射による減衰がある。反射による減衰は空間オブジェクトを構成する各面毎に予め設定された反射率に基づいて演算する。具体的な1次反射音の音響シミュレーションについては後述する。高次反射音とは、図12(C)に示すように、音源オブジェクト12から発音された音が空間オブジェクト11に2回以上反射して受音点13に到達する音をいう。このような高次反射音（残響音）の音響シミュレーションは音響工学上従来から鋭意検討が重ねられており、例えば、特開昭63-40199号に開示されているような、デジタルミュージックシンセサイザに應用される信号処理技術を用いることができる。具体的な高次反射音の音響シミュレーションについては後述する。

【0029】（直接音の音響シミュレーション）図13(A)、図14を参照して直接音の音響シミュレーションの手法について説明する。直接音における音の減衰原因として、上述したように、音の伝播距離による減衰と空間オブジェクトの媒質による影響を考慮する。音の伝播距離による減衰は以下のように考察する。図13(A)に示すように、有限の大きさを持つ音源オブジェクトは、音源オブジェクト12と受音点13の間の距離 x に応じて、それぞれ面音源、線音源、点音源として扱うことができる。例えば、受音点13が音源オブジェクト12に対して $0 < x \leq x_1$ の距離にあるときは面音源として扱い、 $x_1 < x \leq x_2$ の距離にあるときは線音源として扱い、 $x_2 < x$ の距離にあるときは点音源として扱う。面音源とは距離による減衰がない音源のことをいい、線音源、点音源では下式に示す減衰率を有する音源とする。

$$【0030】10 \log_{10} (r_2/r_1) \cdots (1)$$

$$20 \log_{10} (r_2/r_1) \cdots (2)$$

上式において線音源では受音点との間の距離が r_1 から r_2 へ変化したときの音の減衰率を(1)式で演算し、点音源では受音点との間の距離が r_1 から r_2 へ変化したときの音の減衰率を(2)式で演算する。但し、上記 x_1 、 x_2 は音源オブジェクトの大きさで定まる定数とする。以上述べたように、音源オブジェクトの大きさ、音源オブジェクトと受音点間の距離が分かれば音の伝播距離による減衰を演算することができる。具体的には、音源オブジェクトの座標データ、形状データ、受音点の座標データを基に上記演算をすればよい。例えば、音源オブジェクトの大きさが上記伝播距離に比較して充分に小

されれば、音源オブジェクトを点音源として扱うことができる。

【0031】次に、音が伝わる空間オブジェクトの媒質による減衰を考察する。一般に、ある基準点の音圧を P_0 、その点から r の伝播距離を隔てた点での音圧を P とすると、下式に示す関係がある。

$$【0032】P = P_0 \exp(-mr) \dots (3)$$

ここで、 m は減衰率であり、空間オブジェクト内に設定された媒質の種類、湿度、温度等の媒質パラメータ、音源オブジェクトから発音される音の周波数によって定まる定数である。図14は、音源オブジェクトから発音される音の各周波数(500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz、5940Hz)における、空間オブジェクト内に設定された各温度(-10℃、0℃、10℃、20℃)、及び各湿度(30%、50%、70%、90%)における音の減衰率を[dB/100m]単位で表にまとめたものである。このような表を音源オブジェクトから発せられる音の周波数、空間オブジェクトに設定され得る温度、湿度を基に、所定の単位距離当たりの音の減衰率を予め定めサウンドメモリに登録しておけば、伝播距離 r から媒質による減衰を(3)式で求めることができる。尚、空間オブジェクトの媒質として、空気の他に、水、土、砂、粘土等の任意の音の伝達媒体を設定することができ、この場合はそれぞれの媒質毎に上記各種の条件(温度、湿度、音の周波数等)を適宜設定して音の減衰率を定めればよい。

【0033】(1次反射音の音響シミュレーション)次に、図13(B)を参照して1次反射音の音響シミュレーションの手法について説明する。1次反射音における音の減衰原因として、上述したように、音の伝播距離による減衰、空間オブジェクトの媒質による影響、反射による減衰を考慮する。音の伝播距離による減衰、空間オブジェクトの媒質による影響は直接音と同様に演算すればよい。ここでは、音の反射による減衰を考察する。1次反射による音の伝播経路は、同図に示すように、音源オブジェクト12の座標、受音点13の座標、空間オブジェクトを構成する各面の向き、位置等から入射角と反射角とが等しくなるように伝播経路を幾何的に算出する。また、入射角と反射角を θ 、屈折角を θ_t 、反射面における反射率を γ とすると下式を満たすことが知られている。

$$【0034】\gamma = (\delta_1 / \delta_2)^2 \dots (4)$$

$$\delta_1 = \rho_t c_t \cos \theta - \rho_i c_i \cos \theta_t \dots (5)$$

$$\delta_2 = \rho_i c_i \cos \theta_t + \rho_t c_t \cos \theta \dots (6)$$

但し、 c_i 、 c_t はそれぞれ入射音速度、屈折音速度、 θ 、 θ_t はそれぞれ入射角(=反射角)、屈折角、 ρ_i 、 ρ_t はそれぞれ入射音域の媒質密度、屈折音域の媒質密度である。上式より、入射音域と屈折音域の音速、媒質密度により反射率 γ を算出することができる。この反射面は相異なる2種類以上の媒質の境界面であり、具体的

には、空気と水の境界面、空気と壁等の境界面である。この反射率の大きさにより、入射音の反射、透過、屈折等が決定される。尚、伝播距離による音の減衰は距離 $r_1 + r_2$ から求めることができ、媒質による減衰は空間オブジェクト毎に設定された媒質パラメータ、音の周波数から求めることができる。

【0035】(高次反射音の音響シミュレーション)次に、高次反射音の音響シミュレーションの手法について説明する。上述したように、高次反射音(残響音成分)を正確にシミュレーションするためには、膨大な演算を必要とする。そこで、高次反射音においても、音の減衰を伝播距離による減衰、媒質による減衰、反射による減衰に分けて考察する。距離による減衰はモデル化された空間オブジェクトの大きさに依存し、媒質による減衰は媒質パラメータ、音の周波数に依存し、反射による減衰は反射係数に依存する。これらの減衰は上述の手法で演算可能であるが、演算をさらに簡素化するために、下記の手法を採る。空間オブジェクトが直方体であるとき、当該直方体を構成する稜線を仮想三次元空間内で定義された x, y, z 軸方向に分解することができる。そこで、高次反射音の成分を x 軸方向、 y 軸方向、 z 軸方向に分解し、それぞれの成分毎に高次反射音のシミュレーションを行い、最後にこれを合成する。具体的には、特開昭63-40199号に開示されているような、デジタルミュージックシンセサイザに応用される信号処理技術や、コンサートホールを音場再生する技術として利用されている、インパルス応答により計算された音響伝達系の伝達関数から音響シミュレーションする技術、或いは、一般的に音響工学上利用されているリバーブ(残響)信号処理技術を利用することができる。

【0036】(サウンド処理部の構成)図2にサウンド処理部3の構成を示す。サウンド処理部3はサウンドCPU31、サウンドメモリ32、D/Aコンバータ33、アンプ34a、34b、スピーカ6a及び6bを備える。上述したように、サウンドCPU31には、メインCPU1からオブジェクトデータ(仮想三次元空間の様子を画面に描画するために必要となる各オブジェクトの位置、大きさ、向き、形状等の情報)が供給される。サウンドCPU31はこのオブジェクトデータを基に音響シミュレーションの対象となる音場空間の音響伝達系を構成する。具体的には、オブジェクトデータに基づいて仮想三次元空間内に設定される音源オブジェクトの位置、大きさ、向き、音の種類、受音点の位置や向き、これら音源オブジェクトと受音点を取り巻く環境(両者の間に位置するビルや、木、他のオブジェクト等の情報)を基に音響シミュレーションをする。この音響シミュレーションは直接音、1次反射音、高次反射音について行い、最後に合成する。サウンドメモリ32には、音場空間を構成する空間オブジェクトの座標、媒質パラメータ、音源オブジェクトの位置、受音点の位置等の情報が

書き込まれ、音響シミュレーションの際のワークエリアとして機能する。また、サウンドメモリ 32には音源オブジェクト毎に設定された波形データ（PCM符号化された音響信号）などが予め登録されている。

【0037】（音響信号生成部における音響信号処理）サウンドCPU 31、サウンドメモリ 32で構成されるブロックを音響信号生成部 300とし、以下、音響信号生成部 300で行われる音響シミュレーションの処理ステップについて説明する。図 7は音響シミュレーションで行われる音響信号生成ルーチンをフローチャートにしたものである。まず、オブジェクトデータを基に音響シミュレーションの対象となる音源オブジェクトを指定する（ステップ A1）。音源オブジェクトが複数存在する場合には、音源オブジェクトを 1つずつ指定し、それぞれの音源オブジェクトについて本ルーチンを実行する。音源オブジェクトの指定の仕方は任意であるが、音源オブジェクトから発音される音が受音点において一定レベルの出力低下がある場合や、他の音源オブジェクトから発音される音よりも一定レベルの出力差がある場合には、当該音源オブジェクトの指定は行わず、音響信号生成ルーチンを実行しない。このため、不要な演算を省略することで、音響シミュレーションの演算負荷を低減することができる。この点についての詳細は後述する。

【0038】次いで、音源オブジェクトと受音点間の距離が算出済みか否かを判定する（ステップ A2）。一般に音源オブジェクト又は受音点は仮想三次元空間内に固定されているとは限らず、移動している場合もある。これらの事情を考慮し、音源オブジェクトと受音点間の距離に変化がなければ、以前の音響信号生成ルーチンにおいて使用した距離の値を利用することができる。一方、音源オブジェクトと受音点間の距離を算出していない場合、又は、音源オブジェクトと受音点間の距離に変化がある場合には、その距離を新たに計算する必要がある。そこで、音源オブジェクトと受音点間の距離を算出していない場合（ステップ A2：NO）、又は、当該距離に変化がある場合（ステップ A3：YES）については、音源オブジェクトと受音点間の距離を算出する（ステップ A4）。この距離は直接音の音響シミュレーションに直接利用される。同時に本ステップにおいて、1次反射音の経路を演算し、1次反射音の伝播距離を算出する。

【0039】（メモリ操作による音源周波数の修正）次いで、ステップ A4の処理の後、ステップ A5及びステップ A6に移行するが、ステップ A5及びステップ A6においては、音源オブジェクト又は受音点の移動によるドップラー効果の影響を考慮して、音源オブジェクトから発音される音の周波数（音源周波数）を修正するため、メモリ操作を行う。メモリ操作とは音源から発する音の波形データの遅延メモリ上への書き込みアドレスを音源オブジェクトと聴取位置の距離から求めてドップラー効果による音源周波数を修正する手法である。ドップ

ラー効果は周知の通り、図 15（A）に示すように、音源オブジェクトの座標を $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、移動速度を V_1 、受音点の座標を $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 、移動速度を V_2 とし、速度 V_1 の P_1P_2 への投影成分を V_{1sd} 、速度 V_2 の P_1P_2 への投影成分を V_{2sd} とすると、受音点 P_2 において聴取される音の周波数 f' は、下式で表すことができる。

【0040】

$$f' / f = (c + V_{2sd}) / (c - V_{1sd}) \cdots (7)$$

ここで、 c は空間オブジェクトの媒質に固有の音速であり、 f は音源周波数である。（7）式から周波数 f' を求めることもできるが、ここでは物理的な解析に基づくメモリ操作で周波数 f' を求める場合を説明する。サウンドCPU 31は、ステップ A4において求めた音源オブジェクトと聴取位置間の距離を基に、サウンドメモリ 32aに書き込む波形データのアドレスを決定する。例えば、図 16（A）に示すように、波形データの書き込み開始アドレスを A_n とする。一方、波形データの読み込み開始アドレスを A_0 とする。ここで、読み込みアドレスと書き込みアドレスの差（ $A_n - A_0$ ）が音源オブジェクトと聴取位置間の距離に相当する。サウンドCPU 31はアドレス A_0, A_1, \dots の順に既定単位時間（予め定められた固定値）ごとに波形データを読み込む。換言すれば、当該メモリからアドレス A_0, A_1, \dots の順に波形データが出力される。一方、音源オブジェクトと聴取位置間の距離に対応するアドレス A_n に波形データを書き込む。

【0041】波形データの書き込みアドレスと読み込み開始アドレスを上記のように設定することで、同図（B）に示す音源周波数 f の波形データは、同図（C）に示す周波数 f' の波形データとして読み出される。

【0042】例えば、音源オブジェクトが聴取位置に対して遠ざかる方向に移動している場合、書き込みアドレス A_n' はアドレス A_n よりも大きな値となる。このときアドレス A_n の波形データは過去の波形データ（例えば、直前のアドレス A_{n-1} の波形データ）と当該アドレス A_n' の各波形データより既定の補間演算により算出された波形データを書き込む。従って、既定単位時間毎に読み出される波形は同図（C）に示されるような波形となる。また、音源オブジェクトと聴取位置間の距離に変化がない場合は、読み出しアドレス A_0, A_1, A_2, \dots に対して、書き込みアドレスは $A_n, A_{n+1}, A_{n+2}, \dots$ となるため、ドップラー効果は生じない。

【0043】尚、音源オブジェクト又は受音点が相対的に移動していても、図 15（B）に示すように、両者を直線で結ぶことができない場合には、同図に示すように、中継点 P_{b1}, P_{b2} を適当に設定し、音源オブジェクトと聴取位置間の距離を求める。そして、この値を基に波形データの書き込みアドレスを設定して音源周波数を修正する。

【0044】この音源周波数の修正は、ステップA5の直接音信号生成及びステップA6の1次反射音信号生成において処理される。

【0045】（直接音信号の生成ステップ）ステップA5における直接音信号の生成ステップを図8を参照して説明する。まず、サウンドメモリ32から音源オブジェクト毎に割り当てられている波形データを読み込む（ステップB1）。次いで、ステップA4で算出した距離データを読み込む（ステップB2）。本ステップで読み込む距離データは音源オブジェクトと受音点間の距離である。次に、サウンドメモリ32から空間オブジェクトの音響パラメータを読み込み（ステップB3）、（1）式～（3）式を用いて直接音の減衰率を演算する（ステップB4）。また、本ステップにおいて、直接音の伝播遅延時間を演算する。伝播遅延時間 t は、空間オブジェクトの音速を c 、音の伝播距離を d とすると、下式で表すことができる。

$$【0046】 t = d / c \cdots (8)$$

これらの処理ステップの演算結果を基に、音源オブジェクトの波形データを減衰処理し、そして遅延処理（前述のメモリ操作による音源周波数の修正処理）をして直接音信号を生成する（ステップB5）。

【0047】尚、上述の直接音信号の生成ステップにおいては、1つの空間オブジェクト内に音源オブジェクトと受音点が存在する場合を説明したが、図17に示すように、2ヶ以上の空間オブジェクトにまたがって音源オブジェクト P_1 と受音点 P_2 が存在する場合には以下に説明するような処理をする。

【0048】同図（A）に示すように、音源オブジェクト P_1 と受音点 P_2 が複数の空間オブジェクトにまたがって存在する場合、 P_1 と P_2 の間の距離 P_1P_2 は式（9）によって近似できる。

$$【0049】 P_1P_2 = Lr + Ls + \sum Lx \cdots (9)$$

ここで Lr は受音点 P_2 と隣接する空間オブジェクトとの接合面 Sr 上の適当な点（例えば中点）との距離、 Ls は音源オブジェクト P_1 から隣接する空間オブジェクトとの接合面 Ss への最短距離、そして Lx は P_1 および P_2 の存在する空間オブジェクトに挟まれた複数の空間オブジェクトに固有の音響伝達距離であり、図（A）の場合、 L_1 、 L_2 、 L_3 である。これにより、図19のように複数の空間オブジェクトが複雑に配置されていても、簡単な演算によってその距離が算出できる。さらに音源オブジェクトが他の空間オブジェクトへ移動しても、その距離および受音点から見た音源オブジェクトの方向の変化は連続的となる。

【0050】一方、音源オブジェクト P_1 と受音点 P_2 が互いに充分近い距離に存在するとき、その距離は式

（9）で近似できない。このような場合の演算手法を以下に述べる。同図（B）において音源オブジェクト P_1 は点E、点A、点Bへと向かって移動するものとする。

ここで音源オブジェクト P_1 と受音点 P_2 との距離 P_1P_2 が式（9）によって表わすことのできる領域をギミック領域、幾何的な2点間の距離によって表わすことのできる領域をリアル領域、そしてその中間に当たる領域をトランジェント領域とする。そしてギミック領域とトランジェント領域の境界面をGT面、リアル領域とトランジェント領域の境界面をRT面とする。いま音源オブジェクト P_1 がギミックな領域に存在するとき音源オブジェクト P_1 と受音点 P_2 との距離 P_1P_2 は式（9）より

$$10 \quad P_1P_2 = Lr + Ls \cdots (10)$$

である。また音源オブジェクト P_1 がリアル領域に存在するとき P_1P_2 は2点間の距離によって表わされる。そして音源オブジェクト P_1 がトランジェント領域である点Aに存在する場合、 P_1P_2 は以下のように求める。

【0051】点AからGT面への垂線の長さAEと、点AからRT面への垂線の長さABとの比と同じ比になるように線分DBを内分する点Cを求める。ここで点DはGT面上の適当な点（例えば、中点）である。このような対応により音源オブジェクト P_1 がギミック領域からトランジェント領域を経由してリアル領域へ移動しても、受音点 P_2 との距離 P_1P_2 の変化は連続的となる。音源オブジェクト P_1 がリアル領域からトランジェント領域を経由してギミック領域へと移動しても同様である。この手法によれば、同図（C）のように空間オブジェクトが非直線的に接続されている場合においても音源オブジェクトと聴取点間の距離および受音点から見た音源オブジェクトの方向は連続的に変化する。即ち、音源オブジェクト P_1 が図中の点線のごとく移動した場合、演算される音源オブジェクトと聴取点間の距離は、音源オブジェクト P_1 があたかも実線のような経路をたどることと同等である。

【0052】一方、複数の空間オブジェクトを音が伝播する場合の音の減衰は、受音点と音源オブジェクトの距離、空間オブジェクトの形状（市街地、トンネル等）およびその接続の状況等により、個々に対応する必要がある。

【0053】（1次反射音信号の生成ステップ）ステップA6における、1次反射音信号の生成ステップを図9を参照して詳細に説明する。まず、サウンドCPU31はサウンドメモリ32から音源オブジェクト毎に割り当てられている波形データを読み込む（ステップC1）。そして、空間オブジェクトに存在する複数の1次反射経路のうち、任意の1次反射経路を指定する（ステップC2）。例えば、空間オブジェクトに反射面が4つある場合は、1次反射経路も4つ存在するため、それぞれの1次反射経路を順次指定し、以下の処理ステップを実行する。そして、本ステップで指定された1次反射経路の距離データを読み込む（ステップC3）。この距離データは図13（B）における $r_1 + r_2$ に相当するものである。次に、空間オブジェクトの音響パラメータ（媒質パ

ラメータ、反射パラメータ)を読み込む(ステップC4)。以上の処理ステップを残りの1次反射経路について実行し(ステップC5)、全ての1次反射経路についての伝播距離、媒質パラメータ、反射パラメータから減衰・遅延処理をし、1次反射音を生成する。

【0054】(高次反射音信号の生成ステップ)次に、ステップA7における高次反射音信号の生成ステップを説明する。高次反射音は図4に示すFIRフィルタ(高次反射音生成フィルタ)で生成することができる。ステップA7においては、この高次反射音生成フィルタのフィルタ係数を決定し、このフィルタで波形データを加工することで高次反射音を生成する。フィルタ係数とは、高次反射音生成フィルタの各遅延時間 D_1 、 D_2 、 \dots 、 D_N 及びタップ係数 a_1 、 a_2 、 \dots 、 a_N をいう。遅延時間 D_1 、 D_2 、 \dots 、 D_N は高次反射音の伝播距離と空間オブジェクトの媒質パラメータから求めることができ、タップ係数 a_1 、 a_2 、 \dots 、 a_N は伝播距離による減衰、反射による減衰、媒質による減衰を考慮して高次反射音の総合的な減衰率として設定され、高次反射音の伝播距離、空間オブジェクトの媒質パラメータ、反射面における反射率から求めることができる。同図中、 $X(n)$ はフィルタの入力信号であり、具体的にはサウンドメモリ32から読み込まれた波形データに相当する。 $Y(n)$ は高次反射音生成フィルタの出力信号であり、高次反射音の波形データに相当する。また、 N は、音場空間に存在する高次反射音の経路の数である。

【0055】高次反射音の生成ステップを図10を参照して説明する。まず、サウンドCPU31はステップA6で生成した1次反射音信号 $X(n)$ を読み込む(ステップD1)。次に、サウンドメモリ32から空間オブジェクトのデータ(座標、媒質パラメータ等)を読み込む(ステップD2)。この空間オブジェクトのデータから空間オブジェクトの大きさ、媒質等に依存する遅延時間や減衰率等を決定し、高次反射音生成フィルタのフィルタ係数を求める(ステップD3)。最後に、ステップD1で読み込んだ信号 $X(n)$ を入力信号として、高次反射音生成フィルタに通し、高次反射音信号 $Y(n)$ を生成する(ステップD4)。

【0056】尚、高次反射音生成フィルタは、図5に示すように構成することもできる。このフィルタは、並列接続された n 個のコムフィルタ($CF_1 \sim CF_n$)と、カスケード接続された m 個のオールパスフィルタ($APF_1 \sim APF_m$)とから構成される。このフィルタの入力信号は $X(n)$ であり、上述の1次反射音信号の生成ステップで得られた波形データである。出力信号は $Y(n)$ であり、高次反射音の波形データである。コムフィルタは図6(A)に示す構成となっており、オールパスフィルタは図6(B)に示す構成となっている。この結果、コムフィルタの遅延時間 τ' 、帰還利得 g' 及びオールパスフィルタの遅延時間 τ 、帰還利得 g を調整すること

でその周波数特性や残響時間等を調整することができる。例えば、コムフィルタ及びオールパスフィルタの場合、残響時間 T と遅延時間 τ 、帰還利得 g との関係は、下式で表すことができる。

$$【0057】T = 3\tau / \log |g^{-1}| \dots (11)$$

そこで、音源オブジェクトと受音点との距離が小さい場合は遅延時間 τ を小さくし、帰還利得 g を大きく設定する。音源オブジェクトと受音点との距離が大きい場合は遅延時間 τ を大きく設定する。帰還利得 g は音場空間に応じた大小を設定すればよい。このように、高次反射音信号の生成ステップにおいては、これら n 個のコムフィルタのフィルタ係数(τ_1' 、 g_1')、 \dots 、(τ_n' 、 g_n')と m 個のオールパスフィルタのフィルタ係数(τ_1 、 g_1)、 \dots 、(τ_m 、 g_m)を決定することで高次反射音を生成する。尚、波形データの演算時間を考慮すると、 $n=3$ 、 $m=5$ 程度が好ましい。

【0058】(反射による周波数特性の表現)上述の1次反射音生成ステップ又は高次反射音生成ステップにおいては、各種オブジェクトに対する反射による周波数特性の変化を表現するため、ローパスフィルタやハイパスフィルタを使用する。例えば、カーテン等の高周波数成分を吸収する材質に対して音が反射する場合は、反射音は低周波数成分のみであるから、ローパスフィルタを利用する。また、低周波数成分を吸収する材質に音が反射する場合は、ハイパスフィルタを使用し、反射音成分に高周波数成分が含まれるように設定する。更に、バンドパスフィルタ等の特定の周波数成分に対するフィルタを合わせて利用することにより、様々な材質の反射による周波数特性の変化を表現できる。

【0059】(音響信号の合成)図7の音響信号生成ルーチンに話を戻す。ステップA5～ステップA7で直接音信号、1次反射音信号、高次反射音信号を生成した後、これらの信号を合成して出力する(ステップA8)。また、他に音源オブジェクトが存在する場合は、他の音源オブジェクトに対しても同様にこれら一連のステップ(ステップA1～ステップA8)を実行する(ステップA9:YES)。他の音源オブジェクトが存在しない場合は(ステップA9:NO)、音響信号生成ルーチンを終了する。

【0060】(音響信号生成部の論理的構成)図3を参照して音響信号生成部300の論理的構成について説明する。音響信号生成部300は図2に示すように、物理的なハードウェア資源として、サウンドCPU31、サウンドメモリ32を備える。これらハードウェア資源で実現される音響信号生成部300の論理的機能は、図3に示すように、サウンドメモリ32a(サウンドメモリ32のワークエリアの一部)、合成部41、1次反射音生成部42、音像位置決定部43、高次反射音生成部44、直接音生成部45、距離・減衰データ演算・記憶部46、フィルタ係数演算部47、方向データ記憶部4

8、LPF演算部49に分けることができる。

【0061】本明細書における「…部」、「…手段」は音響シミュレーションにおいて実現される概念であり、必ずしも特定のハードウェアやソフトウェアルーチンに1対1には対応してはいない。同一のハードウェア要素が複数の「…部」、「…手段」を実現する場合もあれば、複数のハードウェア要素の関連で1つの「…部」、「…手段」を実現する場合もある。

【0062】サウンドメモリ32aには、受音点の座標データと聴取者の向きのデータ、音源オブジェクトの座標データ、空間オブジェクトの座標データ、空間オブジェクトの音響パラメータ、音源オブジェクトの波形データが格納されている。距離・減衰データ演算・記憶部46は受音点の座標データ、音源オブジェクトの座標データ、空間オブジェクトの座標データから直接音の経路長（音の伝播距離）とその方向、および全ての1次反射音の経路長（音の伝播距離）とその方向を演算し、記憶する。また、この経路長と空間オブジェクトの音響パラメータから距離および媒質等に起因する減衰を演算する。この演算結果は、直接音生成部45、1次反射音生成部42、及びLPF部49に供給される。

【0063】LPF部49は空間オブジェクトの音響パラメータと、距離・減衰データ演算・記憶部46からの伝播距離より波形データに対して音の周波数減衰を施し、処理結果を直接音生成部45及び1次反射音生成部42に供給する。

【0064】直接音信号は直接音生成部45で波形データを減衰・遅延処理して（ステップA5）、生成される。1次反射音は1次反射音生成部42で波形データを減衰・遅延処理して（ステップA6）生成される。

【0065】音像位置決定部43では音像の定位が行われる。例えば、音響信号を出力するスピーカが2チャンネルである場合は、そのスピーカに出力される音の遅延時間、出力レベルを調整し、音像の定位を行う。音像位置決定部43には方向データ記憶部48が接続されており、仮想三次元空間内の音源の位置・方向から音像を定位させるべき情報を得る。音像位置決定部43の出力信号は合成部50に供給される。高次反射音生成部44はフィルタ係数演算部47から高次反射音生成フィルタの遅延時間、タップ係数が指定されるとともに、1次反射音生成部42の出力信号が供給され、減衰・遅延処理がなされて（ステップA7）、高次反射音が生成される。これら直接音及び高次反射音は合成部41で合成され、音像・方向をシミュレーションする場合は、2個以上の出力をもち、各々に対するD/Aコンバータ33（図2）に供給される。

【0066】（音響伝達系を構成するオブジェクトのモデル化）図18を参照して音響伝達系を構成するオブジェクトのモデル化について説明する。図18（A）に示すように、空間オブジェクト11内に音源オブジェクト

12、受音点13、音を反射、吸収又は透過する性質をもつオブジェクト14が存在する場合、空間オブジェクト11、オブジェクト14によって音響伝達系が構成される。このため、オブジェクト14も音響シミュレーションの対象になるが、オブジェクト14の位置、形状、大きさ等を考慮して1次反射音、高次反射音を生成すると演算量が膨大に増大する。そこで、同図（B）に示すように、音響シミュレーションの際には、音響伝達系を構成するオブジェクト14を、音を反射、吸収又は透過する性質を持ち、大きさをもたない点14aとして扱う（モデル化する）ことで演算量を減らす。例えば、オブジェクト14が音を吸収する物体であれば、オブジェクト14を音を吸収し、且つ、大きさをもたない点14aとしてモデル化することで音響シミュレーションをする。また、点に限らず、面としてモデル化することで音響シミュレーションを行うこともできる。点又は面としてモデル化する場合は音響伝達系を構成するオブジェクト14のもつ位置、面の方向、反射率、透過率等の材質の情報をもたせることで音の減衰だけでなく、周波数特性をもシミュレーションすることが可能である。また、音響伝達系を構成するオブジェクトのモデル化は空間オブジェクト内の複数のオブジェクトについて行うことも可能である。

【0067】（音響シミュレーションの簡易化）図19を参照して音響シミュレーションの簡易化について説明する。複数の音源オブジェクトから発音された音が複数の空間オブジェクトを経由して受音点に到達する場合、その減衰量が大きすぎて受音点では聴取不可能である場合がある。このような場合においてもサウンドCPUが全ての音源オブジェクトについて音響シミュレーションをすると、演算負荷が大きい割には効果が得られず効率が悪い。そこで、ある音源オブジェクトから発音される音の減衰量が、音源オブジェクトの出力レベルと比較して一定のレベル（例えば、60dB）を超えた場合には、受音点において聴取不可能な音と判断して、サウンドCPUは当該オブジェクトに対する音響シミュレーションを行わないで、全体の演算効率の向上を図る。

【0068】例えば、図19（A）に示すように、複数の空間オブジェクトから構成される音場空間内にP1a、P1bの2つの音源オブジェクトが存在し、受音点P2での音響シミュレーションを実行する場合を考える。同図中、12dBとあるのは、音の減衰（直接音、1次反射音、高次反射音の総合的な減衰）が12dBであることを意味し、（10dB）とあるのは、直接音のみの減衰量が10dBであることを意味する。音源オブジェクトP1aから発音される音は受音点P2において34dBの減衰量がある（12dB+8dB+10dB+4dB=34dB）。このため、サウンドCPU31は音源オブジェクトP1aに対する音響シミュレーションを実行する。一方、音源オブジェクトP1bから発音される音は中

継点 P₃において 61 dB の減衰量がある (7 dB + 30 dB + 9 dB + 15 dB = 61 dB)。この場合、中継点 P₃において減衰量がすでに一定のレベル (60 dB) を超えているため、サウンド CPU 31 は音源オブジェクト P_{1b} に対する音響シミュレーションを中止する。具体的には、図 7 に示すステップ A1 における、

“音源オブジェクトの指定”において、音の減衰量が一定レベルを超えるような音源オブジェクトについては指定を行わず、後続するステップ (ステップ A2 ~ ステップ A8) の実行を中止する。このように、音響シミュレーション上有効でない音源に対する演算を省略することでサウンド CPU の演算負荷を軽減することができ、音響シミュレーションを簡易化することができる。また、音響シミュレーションの高速な演算を可能にできる結果、リアルタイムで変化する音場空間に対応することができる。

【0069】また、音源オブジェクトの出力レベルの低下を判断する際に、直接音、1 次反射音、高次反射音の全てを算出してから基準減衰量 (例えば、60 dB) を判定するのではなく、直接音のみの減衰量で上記基準減衰量を判定することが好ましい。これは、音の減衰が一般的に距離に起因するものが大きなウェイトを占めている点を考慮したものである。例えば、同図において音源オブジェクト P_{1b} から発音される直接音の中継点 P₄ における減衰量は 61 dB (5 dB + 28 dB + 7 dB + 13 dB + 8 dB = 61 dB) であるから、音源オブジェクト P_{1b} による音響シミュレーションは行わない。

【0070】また、音源オブジェクトから発音される音の音量、音色、音程等はさまざまであり、大きな音量で発音しているものもあれば小さな音量で発音しているものもある。そこで、音場空間に複数の音源オブジェクトが存在する場合には、ステップ A1 における、音響シミュレーションの対象となる音源オブジェクトの指定の際に、他の音源オブジェクトの出力レベルと当該音源オブジェクトの出力レベルとを比較して当該音源オブジェクトを指定するか否かを判断する。例えば、同図において、音源オブジェクト P_{1a} の直接音の出力レベルが音源オブジェクト P_{1b} の直接音の出力レベルと比較して 35 dB 小さいと仮定する。この条件下において、音源オブジェクト P_{1a} の受音点 P₂ に対する出力レベルの低下を音源オブジェクト P_{1b} の受音点 P₂ に対する出力レベルの低下に換算すると、35 dB + 10 dB + 6 dB + 8 dB + 2 dB = 61 dB となる。この結果、音源オブジェクト P_{1a} の音響シミュレーションを省略することができる。

【0071】また、図 19 (B) に示すように、音場空間内に 2 つの音源オブジェクト P_{1a}、P_{1b} が存在し、これら音源オブジェクトから発音される音の伝播経路が一部重複している場合は、共通する中継点 P₅ における音の減衰量を算出することで、個々の音源オブジェクトか

らの減衰量を算出するよりも演算負荷が少なくなる。即ち、共通する中継点 P₅ から受音点 P₂ までの音の減衰量は、各音源オブジェクトから発音された音のそれぞれに対して共通することを利用したものである。例えば、中継点 P₅ から受音点 P₂ までの音の減衰量は、6 dB + 8 dB + 13 dB + 23 dB = 50 dB である。従って、音源オブジェクト P_{1b} から受音点 P₂ までの音の減衰量は、1 dB + 5 dB + 2 dB + 50 dB = 58 dB である。また、音源オブジェクト P_{1a} から受音点 P₂ までの音の減衰量は、10 dB + 3 dB + 9 dB + 2 dB + 50 dB = 74 dB となり、基準減衰量 (60 dB) を超えることがわかる。この結果、音源オブジェクト P_{1b} に対する音響シミュレーションを実行し、音源オブジェクト P_{1a} に対する音響シミュレーションを中止する。このように、音の伝播経路が共通している場合は共通する中継点から受音点までの経路の音の減衰量を予め算出しておくことで個々の音源に対して音の減衰量を演算するよりも演算負荷を低減することができる。

【0072】

20 【発明の効果】本発明の音響信号処理装置によれば、音場空間を空間オブジェクトで構成し、音響シミュレーションを行う構成であるため、音響シミュレーション上の演算負荷を低減できるとともに、空間オブジェクトに音響パラメータを与えることで、現実的な音響シミュレーションを可能にできる。また、複雑な形状の音場空間であっても、空間オブジェクトを組み合わせることで実現できるため、実空間に即した音響シミュレーションを可能にできる。また、刻一刻と音場空間内の環境が変化し、音響伝達系を構成する音の伝播特性がリアルタイムで変化する場合であっても、より現実的な音響シミュレーションを簡易に実現することができる。

【0073】本発明のゲーム装置によれば、画面に表示されるオブジェクトの位置情報等を基に音響シミュレーションをする構成であるため、画面に表示されるオブジェクトの位置、形状、向き、大きさ等を考慮した音響シミュレーションを実現することができる。

【0074】本発明の情報記録媒体によれば、コンピュータを本発明に係わる音響信号処理装置又はゲーム装置として機能させることができる。

40 【図面の簡単な説明】

【図 1】本実施の形態の音響信号処理装置のハードウェアブロック図である。

【図 2】サウンド処理部のハードウェアブロック図である。

【図 3】音響信号生成部の論理的構成図である。

【図 4】高次反射音生成フィルタである。

【図 5】高次反射音生成フィルタである。

【図 6】コムフィルタ及びオールパスフィルタの図である。

50 【図 7】音響信号生成ルーチンのフローチャートであ

る。

【図 8】直接音信号生成ステップのフローチャートである。

【図 9】1 次反射音信号生成ステップのフローチャートである。

【図 10】高次反射音信号生成ステップのフローチャートである。

【図 11】空間オブジェクトの説明図である。

【図 12】音響シミュレーションの説明図である。

【図 13】音響シミュレーションの説明図である。

【図 14】媒質パラメータ毎の音の減衰率をまとめた表である。

【図 15】ドップラー効果の説明図である。

【図 16】メモリ操作の説明図である。

【図 17】音響シミュレーションの説明図である。

【図 18】オブジェクトのモデル化の説明図である。

【図 19】伝播距離による音の出力レベルの低下の様子

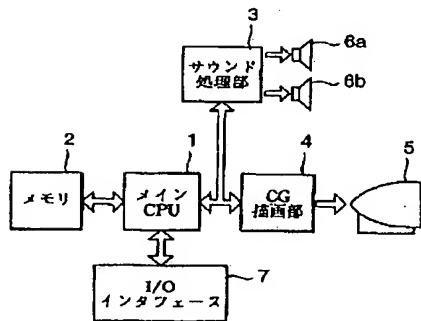
を説明する図である。

【図 20】従来のゲーム装置のハードウェアブロック図である。

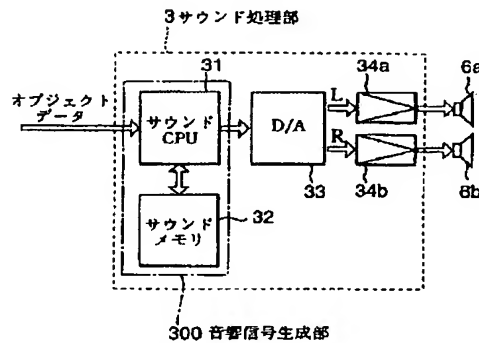
【符号の説明】

1	メイン CPU
2	メモリ
3	サウンド処理部
4	CG 描画部
5	ディスプレイ
3 1	サウンド CPU
3 2	サウンドメモリ
3 3	D/A コンバータ
3 0 0	音響信号生成部
1 1	空間オブジェクト
1 2	音源オブジェクト
1 3	受音点

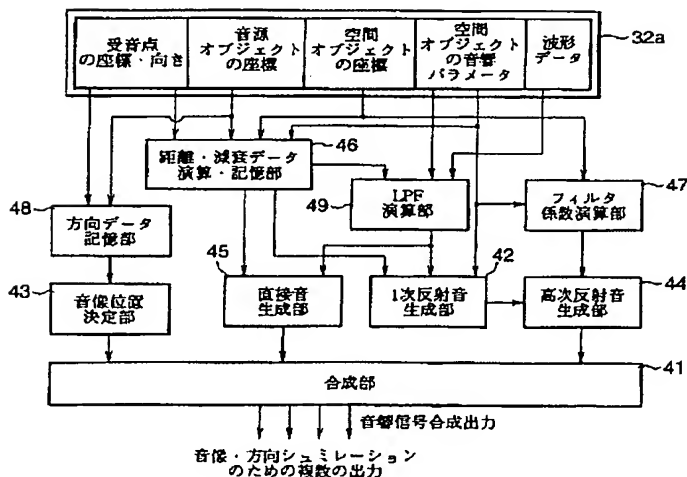
【図 1】



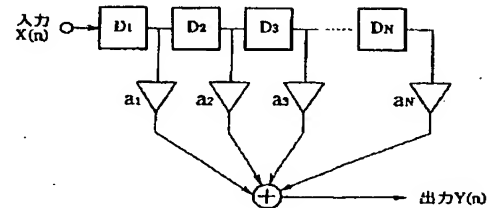
【図 2】



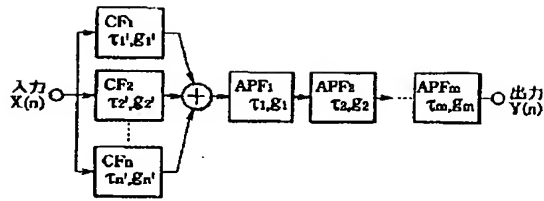
【図 3】



【図 4】

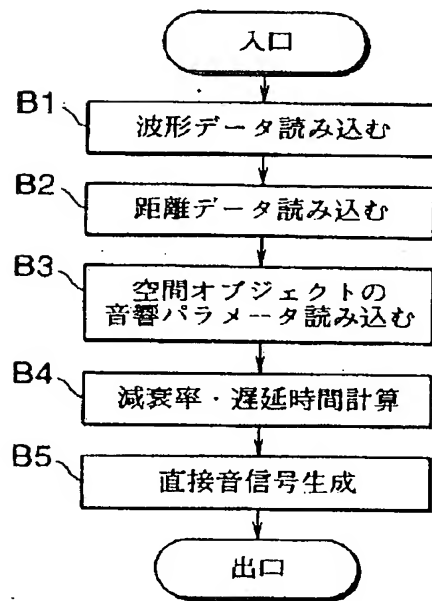


【図 5】

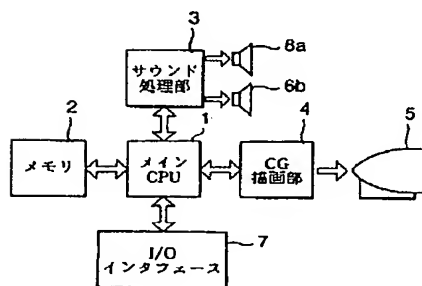


【図 8】

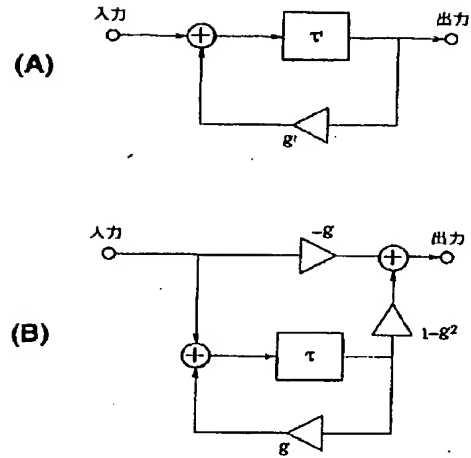
直接音信号生成



【図 20】

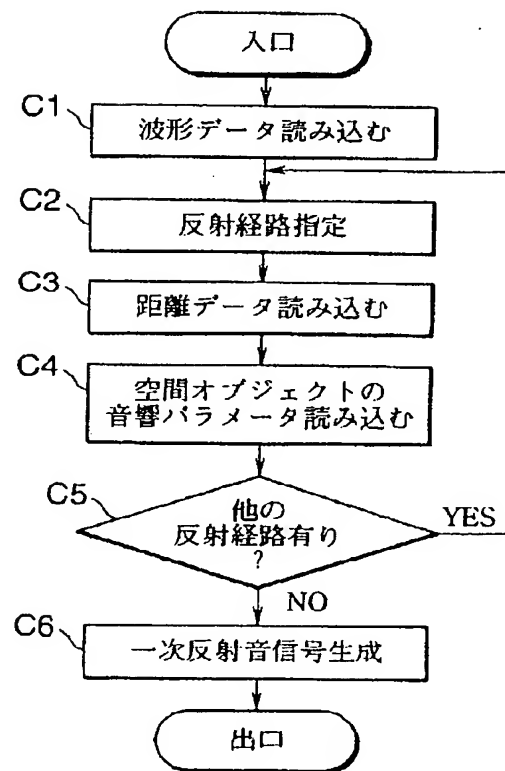


【図 6】

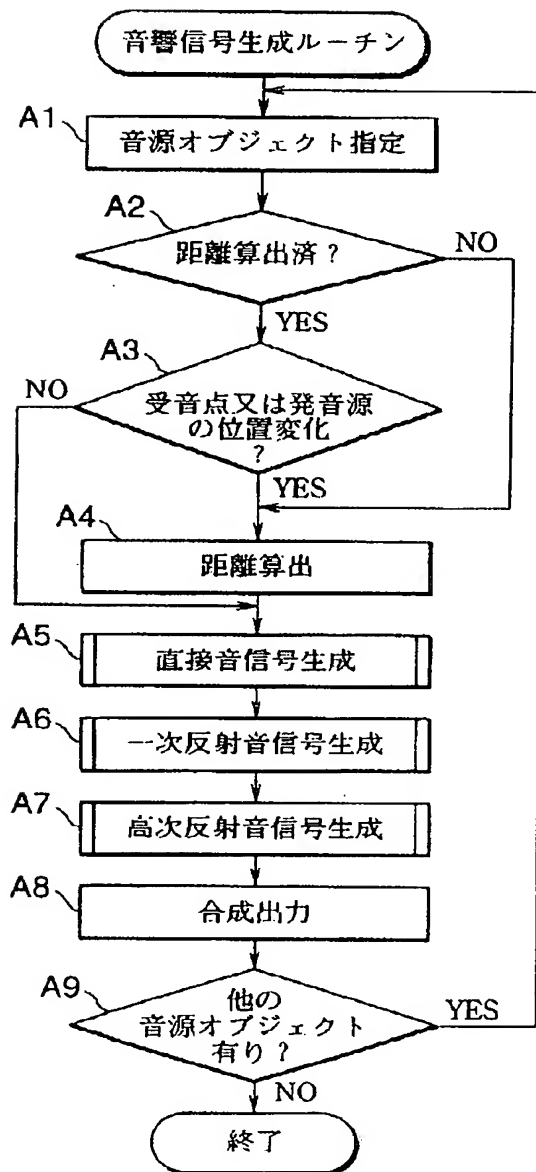


【図 9】

一次反射音信号生成

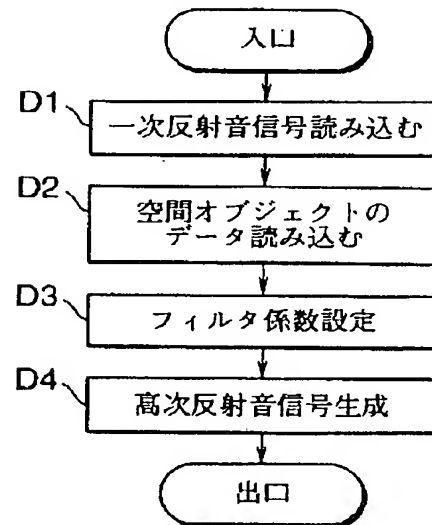


【図7】

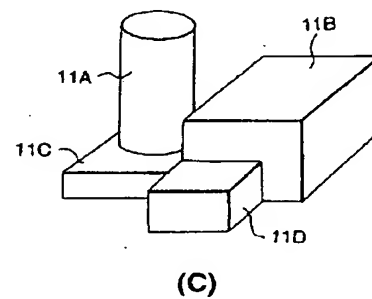
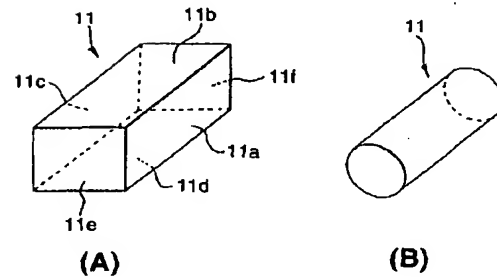


【図10】

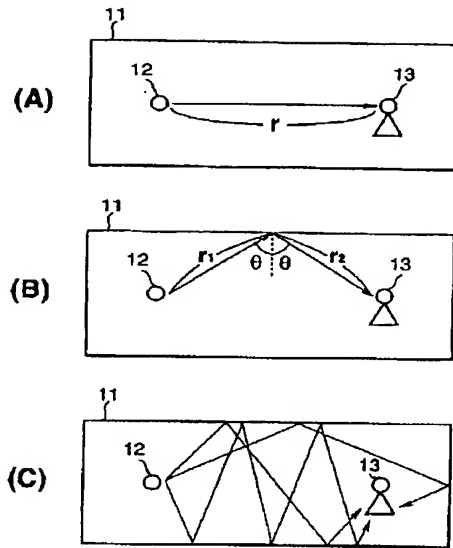
高次反射音信号生成



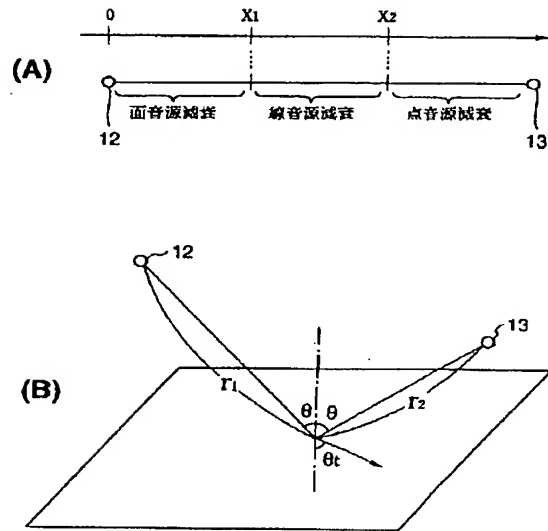
【図11】



【図12】



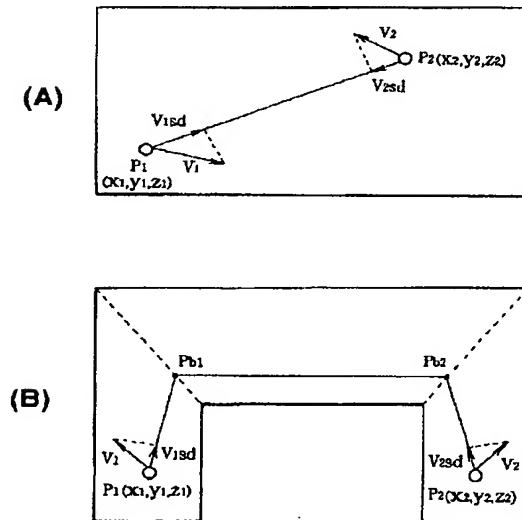
【図13】



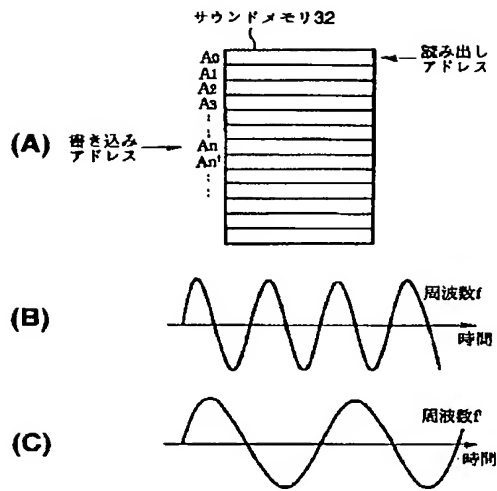
【図14】

周波数 [Hz]	温度 [°C]	相対湿度 [%]			
		30	50	70	90
500	-10	0.56	0.32	0.22	0.18
	0	0.28	0.19	0.17	0.16
	10	0.22	0.18	0.16	0.15
	20	0.21	0.18	0.16	0.14
1000	-10	1.53	1.07	0.75	0.57
	0	0.96	0.55	0.42	0.38
	10	0.59	0.45	0.40	0.36
	20	0.51	0.42	0.38	0.34
2000	-10	2.61	3.07	2.55	1.95
	0	3.23	1.89	1.32	1.03
	10	1.96	1.17	0.97	0.89
	20	1.29	1.04	0.92	0.84
4000	-10	3.36	5.53	6.28	6.05
	0	7.70	6.34	4.45	3.43
	10	6.58	3.85	2.76	2.28
	20	4.12	2.65	2.31	2.14
5940	-10	4.11	6.60	8.82	9.48
	0	10.54	11.34	8.90	6.84
	10	12.71	7.73	5.47	4.30
	20	8.27	4.67	3.97	3.63

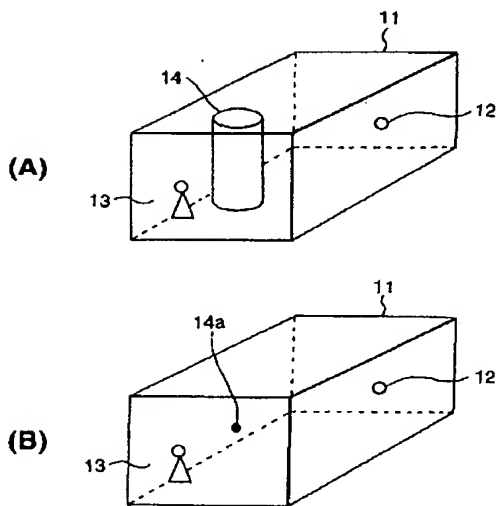
【図15】



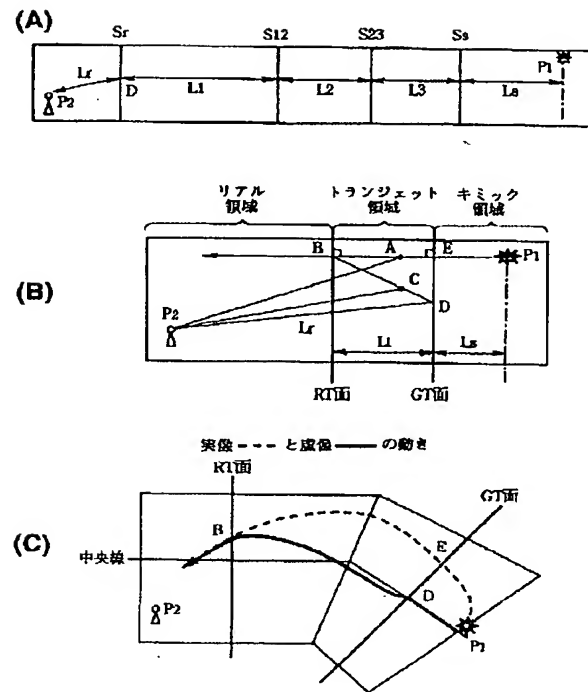
【図16】



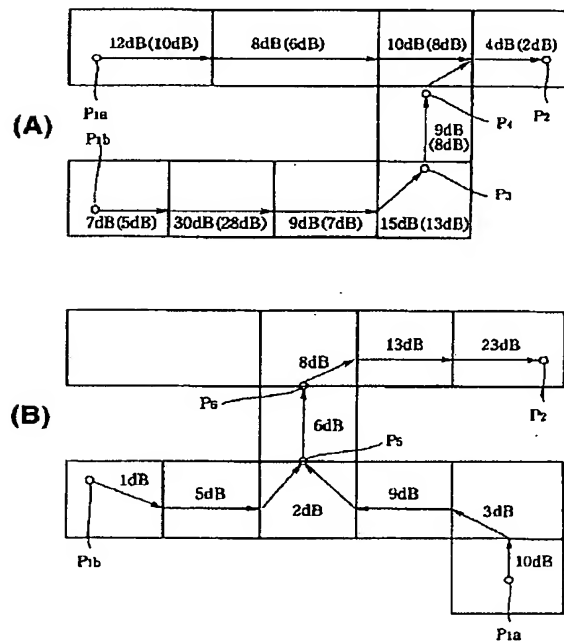
【図18】



【図17】



【図19】



フロントページの続き

(72) 発明者 中根 寿博

東京都大田区羽田 1 丁目 2 番 12 号 株式会
社セガ・エンタープライゼス内

F ターム(参考) 2C001 AA00 AA17 BA00 BA07 BC00
BC09 BC10 CB01 CB05 CB06
CC02 CC08
5D062 AA02